

Implementación de módulos didácticos para sistemas electrónicos de potencia

Alejandro Guerrero-Hernández^a, José Antonio Araque-Gallardo^b & Martin Gallo-Nieves^c

Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sucre, Sincelejo; Colombia. Alejandro.guerrero@unisucra.edu.co

Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sucre, Sincelejo; Colombia. Jose.araque@unisucra.edu.co

Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Pamplona, Pamplona; Colombia. Martingallo6@gmail.com

Resumen— Este trabajo presenta la implementación de módulos didácticos como apoyo a la docencia en el área de dispositivos semiconductores de potencia para el aprendizaje práctico de esta disciplina. El sistema está compuesto por cinco módulos que permiten el desarrollo de diferentes aplicaciones en el área de electrónica de potencia incluyendo el control de potencia eléctrica en AC y DC. Cada uno de los prototipos fue desarrollado con el propósito de permitir al estudiante la validación y verificación de los circuitos típicos empleados en esta disciplina de una forma intuitiva y fácil.

Palabras Clave— Electrónica; semiconductor; módulo didáctico; microcontrolador.

Recibido: 14 de octubre de 2015. Revisado: 10 de febrero de 2016. Aceptado: 15 de febrero de 2016.

Development of didactic modules for power electronic systems

Abstract

In this paper the implementation of training modules are presented as teaching support in the area of power semiconductor devices, for practical learning of this discipline. The system is composed by five modules that allow the development of different applications in power electronics including de AC and DC power electric control. Each of prototypes was developed with the aim that the student can validate and test the typical circuits employed in this topic easy and intuitive form.

Keywords— Power electronics, semiconductor, didactic modules, microcontroller

1. Introducción

Actualmente la electrónica de potencia ocupa un lugar importante en la tecnología moderna y se utiliza en una gran variedad de equipos entre los que se encuentran los controles de calefacción, controles de iluminación, controles de motor, fuentes de alimentación, sistemas de propulsión de vehículos eléctricos y sistemas de corriente directa de alto voltaje[1]. La relevancia de esta disciplina en la vida moderna ha provocado que hoy en día la electrónica de potencia forme parte integral de la mayoría de currículos de instituciones de educación superior (IES) que ofrecen programas académicos en el campo de la ingeniería eléctrica, la ingeniería electrónica y áreas afines. Esto ha generado un mercado importante que pretende satisfacer las necesidades académicas de las IES ofreciendo sistemas entrenadores y kits didácticos para el apoyo a la

docencia en el área de la electrónica de potencia con empresas como *Lúcas Nulle, Sidilab, Phywe, Festo, Graymark, LabVolt y K&H y Edibon*. En Colombia no se fabrican materiales didácticos de apoyo a la docencia de este tipo por lo que las IES deben adquirirlo y/o importarlo desde el exterior. Se han reportado en la literatura varias herramientas tecnológicas como apoyo a la docencia en el área de la electrónica de potencia: En 2009 Armando Cordeiro y otros desarrollan una serie de módulos didácticos enfocados al control de máquinas de DC [2]. También en 2009 Flabio Batista y otros plantean un laboratorio de control digital para aplicaciones de electrónica de potencia [3]. En 2014 Yazan Alsmadi y otros presentan la implementación de un laboratorio de electrónica de potencia y control de motores para la Universidad de Ohio [4]. En Colombia se destacan varios desarrollos enfocados en el desarrollo de soluciones didácticas como apoyo al proceso pedagógico en electrónica de potencia, como se puede apreciar en [5-8].

El campo de la Electrónica de Potencia puede dividirse en tres grandes disciplinas o bloques temáticos como muestra la Fig. 1: Electrónica de regulación y control, convertidores de potencia y componentes electrónica de potencia [9].

Los Componentes electrónicos de potencia se han extendido durante las últimas décadas a una amplia gama de aplicaciones como consecuencia del continuo y rápido desarrollo de la tecnología de semiconductores de potencia, que ha conseguido dispositivos muy potentes, efectivos y fáciles de usar [10].

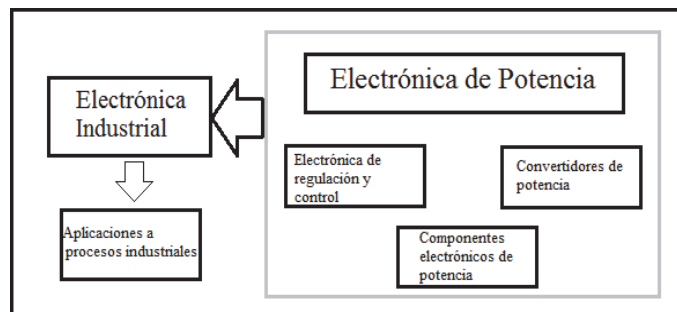


Figura 1. Bloque temático de la electrónica de potencia.

Fuente: [9]



Figura 2. Programa educativo electrónica de potencia.
Fuente: [8]

La aplicación de nuevas estrategias pedagógicas en la enseñanza de la ingeniería han resultado de la discusión permanente acerca de los roles del educador y el estudiante en el proceso de formación y la necesidad de involucrar al estudiante como partícipe activo. Para ello, cada estrategia debe ser cuidadosamente seleccionada para una temática específica, un ambiente de aprendizaje específico o incluso, un grupo de estudiantes específico. De esta manera, el concepto de buena enseñanza planteado en [11], se ve representado en la intencionalidad pedagógica gracias a la cual el estudiante se motiva y participa activamente, logrando que una actividad de enseñanza se convierta efectivamente en una actividad de aprendizaje.

Con base en lo anterior, puede afirmarse que la innovación de estrategias metodológicas aplicadas en la enseñanza de la electrónica de potencia, implica necesariamente la participación activa de los estudiantes [12].

El programa de enseñanza de la electrónica de potencia se articula un componente teórico y un componente práctico. Las clases en el aula han evolucionado y la enseñanza *e-learning* ha tomado importancia en el modelo educativo actual como muestra la Fig. 2.

Un módulo educativo, es un recurso instruccional que sirve de guía para aprender. El mismo provee y contiene herramientas que ayudan al estudiante a entender y aprender paso a paso cualquier tipo de material expedido por cualquier curso educativo; de manera que el adquirir conocimientos y destrezas se haga de manera efectiva aun sin tener contacto presencial continuo con un instructor. La construcción de dispositivos de hardware para la enseñanza, no debe limitarse a la utilización de tecnología para resolver problemas específicos, sino que debe apoyar todo el proceso que el estudiante comprenda el uso de dicha tecnología [13]. El desarrollo alcanzado en software y hardware en la actualidad, ha revolucionado también la didáctica, y en este contexto ha tenido lugar la renovación y la introducción de nuevos conceptos orientados a hacer más dinámicos, más flexibles y más creativos los encuentros pedagógicos en las universidades [13].

Actualmente, la formación en electrónica de potencia se fundamenta en actividades de análisis diseño, simulación e implementación. Gran parte del tiempo dedicado a estas tareas en el aula de clase se invierte en la implementación física de circuitos que no varían mucho de un periodo académico a otro, poniendo en evidencia la necesidad de contar con elementos didácticos que liberen al estudiante de desarrollar estos circuitos y le permitan

dedicar más tiempo a las tareas de análisis. Frente a la alternativa comercial de sistemas didácticos de apoyo a la docencia se propone el diseño y desarrollo de un prototipo que pueda servir como plataforma de experimentación en el aula de clase

2. Metodología

El desarrollo de los módulos didácticos se llevó a cabo en dos partes:

- El hardware y los componentes físicos.
- Las guías metodológicas de laboratorio.

Se inició con una especificación de las temáticas del curso de electrónica de potencia que requerían el apoyo pedagógico por medio de prácticas de laboratorio. A partir de estos temas se procedió a la selección e implementación de los circuitos de electrónica de baja señal y electrónica de potencia, así como de la interfaz de cara al usuario que permitiera un fácil acceso a puntos de alimentación y medición de variables del circuito. A continuación se describen los componentes principales de los módulos didácticos:

2.1. Desarrollo del hardware

El desarrollo del hardware se llevó a cabo mediante una estructura modular, es decir, cada módulo de práctica cuenta con los componentes necesarios para funcionar independientemente [14]. Adicionalmente, en el diseño se tuvo en cuenta la parametrización que las prácticas deben tener, ya que es sumamente importante que el usuario pueda modificar variables de cada una de éstas.

El sistema de prácticas de laboratorio de electrónica de potencia se basa en cuatro módulos de bajo costo, lo que genera una solución efectiva para las instituciones educativas con recursos limitados que desean tener acceso a laboratorios de tipo presencial, como muestra la Fig. 3.

2.1.1. Módulo control velocidad motor DC

Este módulo está basado en la práctica de modulación de pulsos PWM, esta técnica de modulación modifica el ciclo del trabajo de una señal periódica para variar el voltaje aplicado a una carga, así se podrá variar la velocidad de un motor o la potencia aplicada a una lámpara.

El PWM se utiliza para regular la velocidad de los giros de los motores eléctricos. Mantiene el par motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. Se utiliza al controlar mediante un circuito de potencia el momento alto (encendido o alimentado) y el momento bajo (apagado o desconectado) del motor.

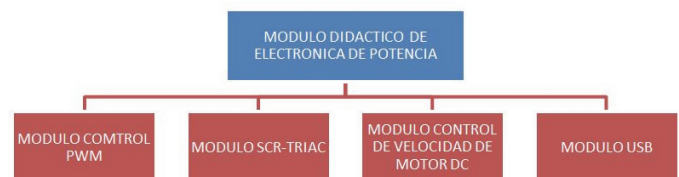


Figura 3. Módulo didáctico electrónica de potencia.
Fuente: Los autores

En la Fig. 4 se aprecia una fotografía del módulo PWM. El primer circuito con el MOSFET de potencia BUZ11 permite controlar motores medianos y grandes, hasta 10 A de corriente.

El segundo circuito con el transistor 2N2222A se usa para motores pequeños, Con una corriente nominal máxima de hasta 800 mA. Mediante este módulo el estudiante podrá comprobar la técnica de modulación PWM por medios cualitativos (observación de las cargas) y cuantitativos (medición con instrumentos) sin perder de vista el diseño de los circuitos electrónicos los cuales están plasmados en serigrafía sobre el módulo.

2.1.2. Módulo SCR-TRIAC

En la Fig. 5 se aprecia el módulo didáctico para SCR y TRIAC usados en circuitos de CA, para controlar la potencia entregada a las cargas eléctricas. La fuente de voltaje es de 13V AC, la potencia suministrada a la carga se controla variando el ángulo de conducción [15].

Este módulo consta de los siguientes esquemas:

- 1) Control de fase de media onda con resistencia variable.
- 2) Control ángulo de disparo con red RC.
- 3) Control de ángulo de fase mediante red RC TRIAC.

Con el uso de este módulo el estudiante experimentará el control de cargas de corriente alterna mediante TRIAC y SCR pudiendo observar mediante osciloscopio el comportamiento temporal de estos circuitos.

2.1.3. Módulo detector de cruce por cero

El módulo se diseñó para determinar el momento en que la señal de alterna pasa por cero (eje x), para manejar la potencia aplicada a una carga como un bombillo (dimmer) o un reductor de velocidad para un motor universal por medio encendido y apagado de un TRIAC.

Para esto se utilizó un circuito con un NE 555 como monoestable generando un pulso de duración determinado por un potenciómetro.

El esquema consta de las siguientes etapas como muestra la Fig. 6.

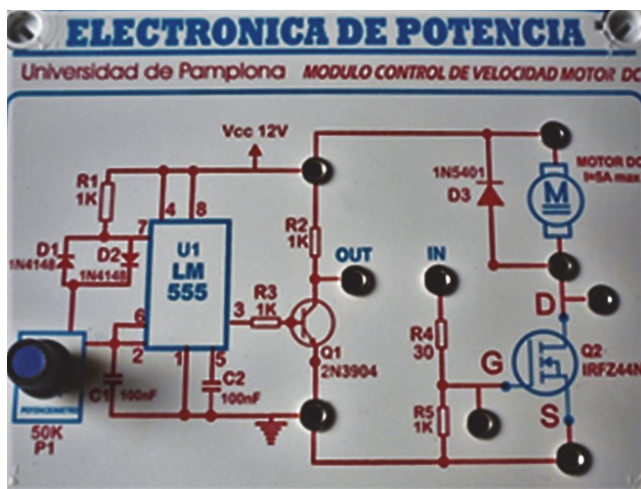


Figura 4. Módulo Control Velocidad Motor DC.
Fuente: Los autores.



Figura 5. Módulo SCR-TRIAC.
Fuente: Los autores.

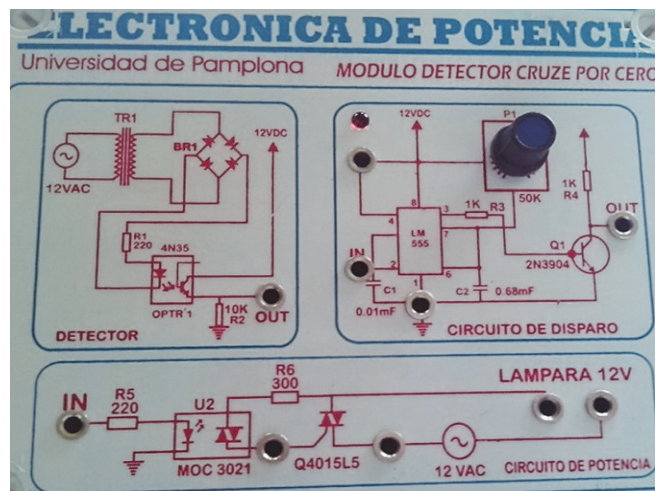


Figura 6. Módulo detector de cruce por cero
Fuente: Los autores

- 1) Etapa de aislamiento y detección por cruce por cero.
- 2) Circuito de disparo.
- 3) Circuito de potencia.

2.1.4. Módulo USB

Este módulo se basa en la conexión USB con un computador para manejar cargas de potencia por medio de una aplicación en cualquier software en que se diseñe una interfaz gráfica y que tenga comunicación con diferentes dispositivos como el puerto USB permitiendo una comunicación del ordenador y una tarjeta basada en el microcontrolador PIC 18F4550 a través de este por medio de un código de programación ejecutará y codificará las órdenes recibidas para manejar cargas de potencia como los motores, lámparas, que podrá más adelante ser modificado para hacer control de lazo cerrado. Este módulo está conformado por las siguientes etapas, como se muestra en la Fig. 7.

En la Fig. 8 se aprecia un diagrama en bloques del módulo microcontrolador-USB.

3. Resultado de la aplicación del prototipo

Esta estructura modular es aplicada actualmente en el curso de electrónica de potencia, para lo cual se han dispuesto de las siguientes prácticas de laboratorio:

- 1) Conocimientos básicos dispositivos electrónicos de potencia.
- 2) Curvas características de los tiristores.
- 3) Detector de cruce por cero.
- 4) Aplicaciones prácticas de los opto acopladores.
- 5) Circuito de control de potencias con SCR.
- 6) Circuito de control de potencias con TRIAC.
- 7) Circuitos de conversión de CC a CC.
- 8) Aplicaciones del microcontrolador como dispositivos de control de potencia.

La construcción de los módulos se acoplan completamente al laboratorio, tanto en su parte manipulable y su parte funcional, con los equipos existentes sin ningún requerimiento adicional.

En la Fig. 9 se observa el módulo finalizado en una estructura modular.

Esta estructura modular se utiliza para dar soporte a los módulos de potencia, aquí se encuentra cada una de las cargas:



Figura 7. Representación por etapas del módulo USB
Fuente: Los autores

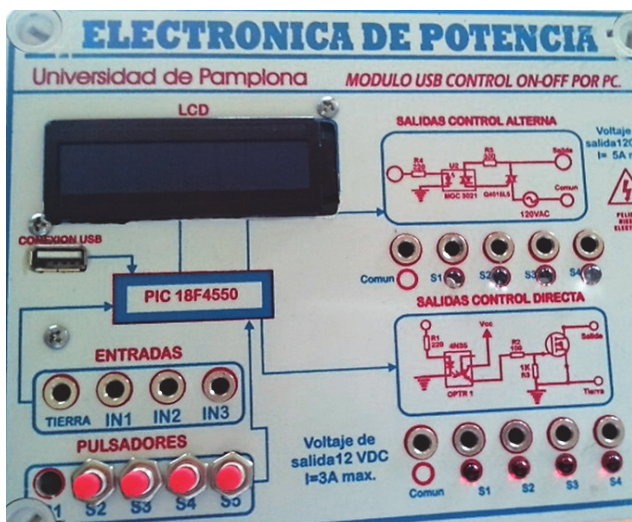


Figura 8. Módulo USB.
Fuente: Los autores

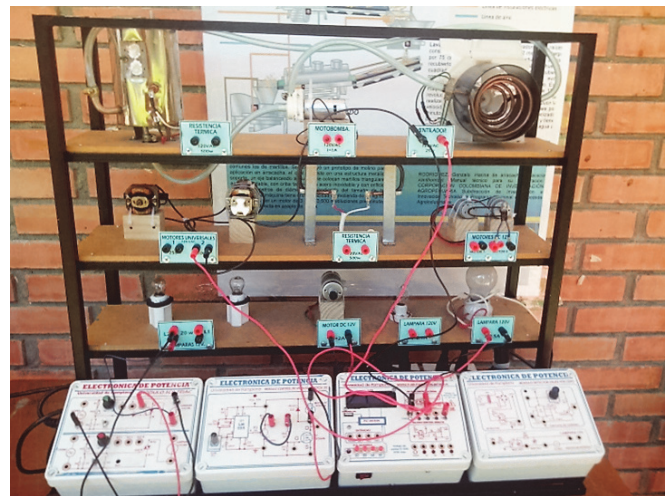


Figura 9. Estructura modular.
Fuente: Los autores.

- 1) Motores universales.
- 2) Lámparas de 12v y 120v.
- 3) Resistencias térmicas.
- 4) 1 motobomba de 120v.
- 5) 1 extractor de aire de 120v.
- 6) Transformador de 120v / 12-0-12.

4. Conclusiones

La percepción del cuerpo docente en cuanto a la experiencia en el laboratorio sugiere que los estudiantes mostraron gran interés en el uso de los módulos didácticos de electrónica de potencia.

El uso de los módulos didácticos permite que el estudiante dedique más tiempo al estudio y análisis de las topologías usadas en el proceso de experimentación.

El módulo microcontrolador permite que el estudiante pueda aplicar competencias en el área de la programación y los sistemas SCADA.

El principal aporte de este trabajo ha sido presentar una alternativa de bajo costo desarrollada en nuestro país que permite aprovechar los recursos limitados del laboratorio y facilita la labor docente.

5. Trabajo futuro

Se propone a mediano plazo el diseño de módulo en el área de control industrial e instrumentación electrónica.

Es necesario medir cuantitativamente el grado de satisfacción del estudiante acerca del uso de los módulos didácticos desarrollados.

A corto plazo el sistema de módulos didácticos debe articularse con herramientas *e-learning*. Utilizando material online presente en la web como son: video tutoriales, presentación, archivos electrónicos, Nota de las experiencias de los estudiantes en el laboratorio, entre en otros.

Referencias

- [1] Rashid, M., *Electrónica de potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones*, segunda Ed., Prentice Hall, México, 1995, pp. 1-2.
- [2] Cordeiro, A., Foito, D., Guerreiro, M., Power electronics didactic modules for direct current machine control, *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*. 2009, pp. 624-628. DOI: 10.1109/POWERENG.2009.4915257.
- [3] Batista, F. et al., Didactic system for digital control of power electronics applications, *Brazilian Power Electronics Conference, Bonito (MS) – Brazil*, 2009, pp. 1093-1098. DOI: 10.1109/COBEP.2009.5347672.
- [4] Alsmadi, Y. et al., New trends and technologies in power electronics and motor drives education, *121 ASEE Annual Conference & Exposition, Indianapolis*, in, 2014.
- [5] López, O., Metodología para la investigación en electrónica de potencia basada en una nueva herramienta didáctica, *Revista Educación en Ingeniería*, 6(12), pp. 80-89, 2011.
- [6] López, O., Cambiando el rol de las actividades experimentales en la enseñanza de electrónica de potencia, *Revista Educación en Ingeniería*, 8(15), pp. 13-23, 2013.
- [7] Cardona, S. y Ospina, S., Diseño de entrenador de electrónica industrial para la formación de los estudiantes, *World Engineering Education Forum WEEF, Cartagena-Colombia*, Septiembre, 2013.
- [8] Zumel P., Fernández C., et al. Herramienta interactiva para la enseñanza de la electrónica de potencia. [En línea]. 2006, Disponible en: <http://www.upc.edu/euetib/xiicuiet/comunicaciones/din/comunicacion/s/284.pdf>.
- [9] Aguilar J., *Electrónica de potencia*, [En línea]. (1ra ed). Disponible en: https://issuu.com/jaguilarpena/docs/electronica_potencial_1. 2005.
- [10] Calapaquí, O., Wilfrido, R., Diseño y construcción de un módulo didáctico de un convertidor AC/DC – DC/DC con control PWM, para puente completo utilizando IGBT's destinado al laboratorio de control eléctrico de la ESPE Extensión Latacunga. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7020>. 2013.
- [11] Biggs, J., *Calidad en el aprendizaje universitario*. Narcea S.A. de Ediciones, España, 2006, pp. 100-127.
- [12] Abramovitz, A., Teaching behavioral modeling and simulation techniques for power electronics courses. *IEEE Transactions on Education*, 54(4), pp. 523-529, 2011. DOI: 10.1109/TE.2010.2076380.
- [13] Herrera, F., Merchan, S. and Villamizar, F., Kit de desarrollo robótico: Una herramienta de aprendizaje en ingeniería *Revista Educación en Ingeniería*, 5(9), pp 49-63, 2010.
- [14] Sánchez, J. y Guerrero, F., Sistema didáctico remoto para el aprendizaje de comunicaciones digitales, *Revista Educación en Ingeniería*, 8(16), pp. 148-160, 2013.
- [15] Timothy, J., Malony. "SCR", Ed. Prentice Hall, 2006, pp 160-185.

A. Guerrero-Hernández, recibe el título Ingeniero Electrónico en 2004, el título Especialista en Gestión de Proyectos Informáticos en 2007, MSc. en Controles Industriales en 2012, todos ellos en la Universidad de Pamplona, Colombia. Actualmente es docente tiempo completo del programa de Tecnología en Electrónica Industrial en la Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
ORCID: 0000-0001-5179-6473.

J. Araque-Gallardo, recibe el título Ingeniero Electrónico en 2005, Especialista en Gestión de Proyectos Informáticos en 2007, MSc en Controles Industriales en 2013, todos ellos en la Universidad de Pamplona, Colombia. Actualmente es docente tiempo completo del programa de Tecnología en Electrónica Industrial en la Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
ORCID: 0000-0002-4156-7105

M. Gallo-Nieves, recibe el título Ingeniero Electrónico en 2007, Especialista en Gestión de Proyectos Informáticos en 2015, todos ellos en la Universidad de Pamplona, Colombia. Es docente del programa de ingeniería electrónica e ingeniería eléctrica de la Universidad de Pamplona, Villa de Rosario, Colombia.
ORCID: 0000-0001-6809-7089